



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
11.11.2015 Patentblatt 2015/46

(51) Int Cl.:
F02D 41/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15166577.5**

(22) Anmeldetag: **06.05.2015**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA

(72) Erfinder:
• **Schüssler, Martin**
8010 Graz (AT)
• **Allmer, Ingo**
8046 Stattegg (AT)

(74) Vertreter: **Babeluk, Michael**
Patentanwalt
Florianigasse 26/3
1080 Wien (AT)

(30) Priorität: **09.05.2014 AT 503242014**

(71) Anmelder: **AVL List GmbH**
8020 Graz (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR DYNAMISCHEN ERMITTLUNG VON GASSTRÖMUNGEN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Ermittlung von Gasströmungen in einem Leitungsstrang (1), insbesondere in Einlass- oder Auslassleitungen von Brennkraftmaschinen, wobei Bauteile (B1, B2, B3, Bi) und Rohrteile (R1, R2, R3, Ri) durch eine Abfolge von Modellvolumina (V1, V2, Vi) und Modelldrosseln (D1, D2, D3, Di) modelliert werden, sowie ein Computerprogramm zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.
Um eine Echtzeitberechnung mit geringem Aufwand

zu ermöglichen, ist vorgesehen, dass mehrere Bauteile (B1, B2, B3, Bi) und/oder Rohrteile (R1, R2, R3, Ri) im Leitungsstrang (1) zu einer Komponentengruppen (KG1, KG2, KG3, KGi) zusammengefasst werden, wobei der Komponentengruppe (KG1, KG2, KG3, KGi) ein einziges Modellvolumen (V1, V2, Vi) und/oder eine einzige Modelldrossel (D1, D2, D3, Di) zugeordnet wird. Auf Basis dieser Zusammenfassung werden dann die Massenströme berechnet.

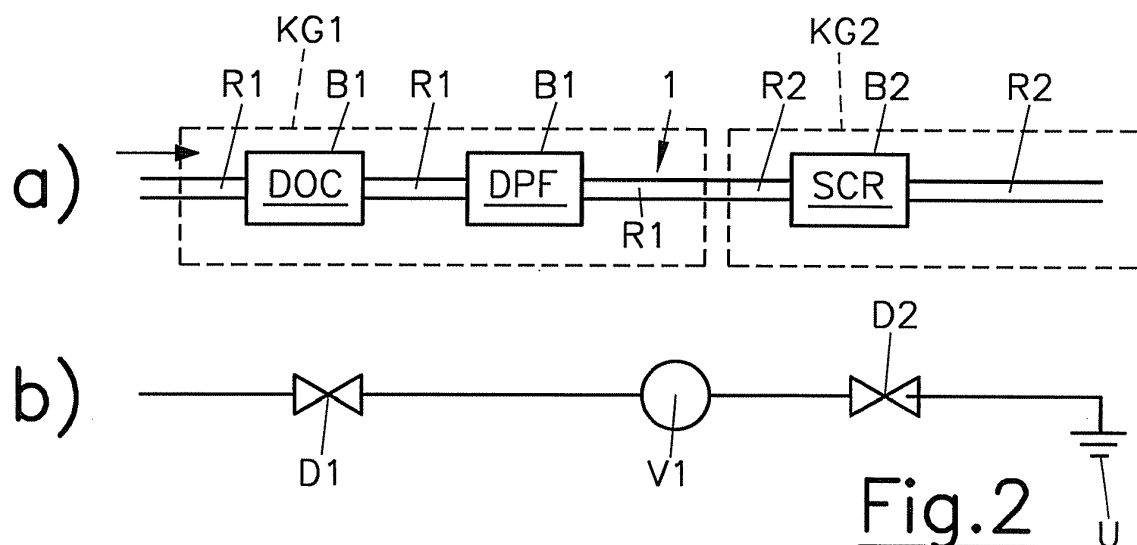


Fig.2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Ermittlung von Gasströmungen in einem Leitungsstrang, insbesondere in Einlass- oder Auslassleitungen von Brennkraftmaschinen, wobei Bauteile und Rohrteile durch eine Abfolge von Modellvolumina und Modelldrosseln modelliert werden.

[0002] Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Computerprogramm zur Durchführung eines derartigen Verfahrens sowie ein computerlesbares Medium, auf welchem ein derartiges Computerprogramm gespeichert ist.

[0003] Derartige Verfahren kommen beispielsweise bei der Kalibration von Motorsteuergeräten oder Steuergeräten für Abgasnachbehandlungssysteme zu Einsatz. Alle Komponenten-Modelle eines Leitungsstranges weisen dabei eine Volumen- und Druckverlustberechnung auf. Es ist bekannt, in eindimensionalen Ladungswechselprogrammen zur dynamischen Berechnung von Massenströmen eine Abfolge von Modellvolumina und Modelldrosseln zu verwenden. Dabei wird in üblichen Ansätzen zur schnellen Berechnung von Gasströmungen im Bereich des automotiven Ladungswechsels die Gasdynamik während eines Arbeitsspiels nicht aufgelöst, sondern die Massenströme werden über die Zeitskala eines Arbeitsspiels gemittelt ("mean value models"). Die einzelnen Bauteile und Rohrstücke werden vereinfacht durch eine Abfolge von Modellvolumina und Modelldrosseln repräsentiert (Fig. 1). Dieser - beispielsweise in Guzella L. ; Onder C. H, "Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems", Springer Verlag, 2004, S21-118 beschriebene - Ansatz wird üblicherweise auch verwendet, wenn Abgasnachbehandlungssysteme in Echtzeit simuliert werden sollen. Insbesondere bei komplexeren Leitungssträngen mit einer Vielzahl an Komponenten ist allerdings ein hoher Rechenaufwand erforderlich, welche eine Echtzeitauswertung erschwert oder nur mit sehr leistungsstarken Prozessoren möglich macht.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden und eine Echtzeitberechnung mit geringem Aufwand zu ermöglichen.

[0005] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass mehrere Bauteile und/oder Rohrteile im Leitungsstrang zu einer Komponentengruppe zusammengefasst werden, wobei der Komponentengruppe ein einziges Modellvolumen und/oder eine einzigen Modelldrossel zugeordnet wird.

[0006] Somit können die Gasmassenströme im Leitungsstrang und/oder der Komponentengruppen auf der Basis der Modellvolumina und/oder der Modelldrosseln berechnet werden. Die Zahl der Modelldrosseln und Modellvolumina ist dabei wesentlich geringer als bei bekannten Verfahren. Dies ermöglicht es, den Rechenaufwand und somit die Rechenzeit im Vergleich zu bekannten Verfahren wesentlich zu reduzieren, wodurch mit vergleichsweise einfacher Hardware eine Echtzeitberechnung möglich wird. Damit ist beispielsweise die Kalibra-

tion eines Abgasnachbehandlungssteuergeräts an einem HiL-Prüfstand ("Hardware in the loop") möglich, indem ein Motor- und oder Abgassystemmodell die Einstellung der Regelparameter eines realen Steuergeräts in Echtzeit erlauben.

[0007] Vorzugsweise wird der Leitungsstrang durch mehrere hintereinander gereihete Komponentengruppen modelliert, wobei jeder Komponentengruppe jeweils nur ein Modellvolumen und/oder nur eine Modelldrossel zugeordnet wird.

[0008] An Verzweigungsknoten, Mündungsknoten und/oder Kreuzungsknoten des Leitungsstranges wird jeweils eine Grenze von hintereinander folgenden Komponentengruppen definiert.

[0009] Bei einer Ein- und Auslassleitung werden statt eines weiteren Modellvolumens Umgebungsdruck und Umgebungstemperatur gesetzt. Damit bildet die Umgebung das erste (im Fall einer Einlassleitung) bzw. letzte (im Fall einer Auslassleitung) Modellvolumen.

[0010] Besonders wichtig für eine ausreichend hohe Genauigkeit des Verfahrens ist eine Abstimmung zwischen den Modelldrosseln bzw. Modellvolumina der abstrahierten Komponentengruppen und den realen Komponenten.

[0011] Nachdem der Gasmassenstrom und der Enthalpiestrom im jeweiligen Berechnungszeitschritt in die Komponentengruppe wie oben beschrieben ermittelt wurden, dienen sie somit als Eingangsgrößen in detaillierte Modelle der Komponenten. In diesen detaillierten Modellen jeder Komponente der Komponentengruppe werden der Druckverlust, der Wärmeverlust bzw. die Wärmebilanz und/oder der Reaktionsumsatz berechnet und als Eingangsgrößen an die jeweils nächste Komponente der Komponentengruppe übergeben. Hierbei bleibt der Massenstrom in jeder Komponente der Komponentengruppe im betrachteten Berechnungszeitschritt gleich. Schließlich wird die Summe aller berechneten Druckverluste der einzelnen Komponenten der Komponentengruppe mit dem Druckverlust der Modelldrossel der Komponentengruppe verglichen und im Falle einer Abweichung die Modelldrossel bzw. die der Modelldrossel zu Grunde liegende Drosselgleichung anhand einer Parameteranpassung korrigiert. Bei den angepassten Parametern kann es sich beispielsweise um Abstimmungsparameter handeln, um die Modelldrossel an die Komponenten der jeweiligen Modellkomponenten anzupassen.

[0012] Weiters wird die Summe der Wärmebilanzen der Komponenten der Komponentengruppe zum Enthalpiestrom hinter der Modelldrossel hinzuaddiert.

[0013] Die Aufgabe der Erfindung wird auch durch ein eingangs erwähntes Computerprogramm gelöst, das Anweisungen enthält, die, wenn sie von einer Steuerungseinrichtung, insbesondere einer elektronischen Steuerung einer Brennkraftmaschine oder eines Abgasnachbehandlungssystems einer Brennkraftmaschine, ausgeführt werden, das oben genannte Verfahren ausführen, sowie durch ein computerlesbares Medium, auf welchen

ein derartiges Programm gespeichert ist.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt das Ermitteln von Gasströmungen in Leitungssträngen in Echtzeit, wobei die Eingangsgrößen für das ermittelte Modell sowohl von vorgelagerten Simulationen bzw. zugehörigen Modellen als auch von realen Messungen, z. B. von Temperatur, Massenströmen und Gaszusammensetzungen, bezogen werden können.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren wird im Folgenden anhand eines nicht einschränkenden Ausführungsbeispiels, das in den Figuren schematisch dargestellt ist, näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 eine nach einem bekannten Verfahren erfolgende Modellierung eines Leitungsstranges;

Fig. 2 eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgende Modellierung dieses Leitungsstranges;

Fig. 3 eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgende Modellierung eines weiteren Leitungsstranges; und

Fig. 4 eine Zusammenfassung von Komponenten zu Komponentengruppen gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren und die in den zugehörigen Komponentenmodellen berechneten Größen.

[0016] Fig. 1a zeigt einen Leitungsstrang 1, beispielsweise einer Auslassleitung einer Brennkraftmaschine, wobei der Leitungsstrang 1 aus mehreren Komponenten, und zwar Bauteilen B - beispielsweise Oxidationskatalysator DOC, Dieselpartikelfilter DPF und SCR-Katalysator SCR - und Rohrteilen R, besteht. Zur schnellen dynamischen Berechnung der Gasmassenströme mittels eindimensionaler Ladungswechselprogramme wird üblicherweise der Leitungsstrang 1 modelliert, indem jeder Komponente ein Modellvolumen V und eine Modelldrossel D zugeordnet wird, wie im in Fig. 1b dargestellten Ersatzschaltbild gezeigt ist. Für den in Fig. 1a dargestellten Leitungsstrang mit insgesamt sieben aus Rohrteilen B und Bauteilen R bestehenden Komponenten sind im Ersatzschaltbild der Fig. 1b somit sieben Modellvolumina V und sieben Modelldrosseln D erforderlich, welche nacheinander durchgerechnet werden müssen. Insbesondere bei komplexeren Leitungssystemen stößt die Echtzeitberechnung an durch die eingesetzte Hardware limitierte Grenzen.

[0017] Fig. 2a zeigt den gleichen Leitungsstrang 1 samt Komponenten wie in Fig. 1a, wobei zur schnellen dynamischen Berechnung der Gasmassenströme Bauteile B1, B2 und Rohrteile R1, R2 erfindungsgemäß zu Komponentengruppen KG1 und KG2 zusammengefasst werden. Im vorliegenden Fall sind einerseits die Bauteile B1 Oxidationskatalysator DOC und Dieselpartikelfilter DPF, samt den zu- oder abführenden Rohrteilen R1 zu

einer ersten Komponentengruppe KG1, und andererseits der Bauteil B2 SCR-Katalysator SCR sowie die angrenzenden Rohrteile R2 zu einer zweiten Komponentengruppe KG2 zusammengefasst. Wie im in Fig. 2b gezeigten Ersatzschaltbild gezeigt ist, wird der ersten Komponentengruppe KG1 eine erste Modelldrossel D1 und ein erstes Modellvolumen V1, und der zweiten Komponentengruppe KG2 eine zweite Modelldrossel D2 zugeordnet. Das Modellvolumen der zweiten Komponentengruppe KG2 wird durch die Umgebung U ersetzt, indem Umgebungsdruck und Umgebungstemperatur herangezogen werden.

[0018] Fig. 3a zeigt einen anderen Leitungsstrang 1 mit Bauteilen B und Rohrteilen R, wobei vom Leitungsstrang 1 in einem Zweigknoten 2 eine Leitung 3 abzweigt. Die erste Komponentengruppe KG1 beinhaltet die ersten drei Bauteile B1 samt angrenzenden Rohrteilen R1. Die zweite Komponentengruppe KG2 setzt sich aus den Bauteilen B2 und den angrenzenden Rohrteilen R2 zusammen. Die dritte Komponentengruppe KG3 wird durch die Bauteile B3 samt angrenzenden Rohrteilen R3 gebildet. Die Grenze zwischen erster Komponentengruppe KG1 und zweiter Komponentengruppe KG2 wird durch den Zweigknoten 2 bestimmt. Beim Bauteil B3 handelt es sich im Ausführungsbeispiel um einen Bauteil mit besonders temperatursensitiven Eigenschaften, weshalb die Grenze zwischen der zweiten Komponentengruppe KG2 und der dritten Komponentengruppe KG3 stromaufwärts des Bauteils B3 gelegt wird. In Fig. 3b ist das Ersatzschaltbild der Komponentengruppen KG1, KG2, und KG3 dargestellt. Der ersten Komponentengruppe KG1 sind Modelldrossel D1 und Modellvolumen V1, der zweiten Komponentengruppe KG2 Modelldrossel D2 und Modellvolumen V2, und der dritten Komponentengruppe KG3 ist die Modelldrossel D3 zugeordnet. Das Modellvolumen der dritten Komponentengruppe KG3 wird durch die Umgebung U ersetzt.

[0019] Fig. 4 zeigt im Detail die Modellierung von Bauteilen B und Rohrteilen R gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren. Von der in Fig. 4 nicht dargestellten vorhergehenden Komponentengruppe werden die Eingangsgrößen Gasmassenstrom $\dot{m}$ und Enthalpiestrom $\dot{H}$ übernommen. Der Enthalpiestrom $\dot{H}$ wird dabei beispielsweise wie folgt berechnet:

$$\dot{H} = T \sum_i c_{p,i} \dot{n}_i$$

[0020] Dabei steht i für die jeweilige Spezies in der molekularen Zusammensetzung des Abgases, $\dot{n}_i$ für den Molenstrom der i-ten Spezies und $c_{p,i}$ für die molare Wärmekapazität der i-ten Spezies.

[0021] Jeder Bauteil Bi und jeder Rohrteil Ri weisen einen bestimmten Druckverlust Δp und eine bestimmte Wärmebilanz $\dot{Q}$ auf, welche berechnet werden. Die Modelldrossel Di ist dann richtig gewählt, wenn die Summe der einzelnen Druckverluste Δp dem Druckverlust Δp_D

der Modelldrossel D_i entspricht. Als Druckverlustgleichung der Modelldrossel D_i kann beispielsweise eine empirische Funktion des Druckverlustes Δp_D in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit v verwendet werden, zum Beispiel:

$$\Delta p_D = k v^x,$$

wobei k und x Abstimmungsparameter darstellen, um die Modelldrossel D_i an die Komponenten der Komponentengruppe KG_i anzupassen. Die Summe der Wärmebilanzen $\dot{Q}$ der Bauteile B_i und Rohrteile R_i wird zum Enthalpiestrom $\dot{H}$ stromabwärts der Modelldrossel D_1 addiert.

[0022] Dadurch, dass hintereinander angeordnete Komponenten zu Komponentengruppen KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i zusammengefasst werden und jeder Komponentengruppe KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i jeweils eine Modelldrossel D_1 , D_2 , D_3 , D_i und/oder ein Modellvolumen V_1 , V_2 , V_i zugeordnet wird, kann der Rechenaufwand und somit die Rechenzeit im Vergleich zu bekannten Verfahren wesentlich reduziert werden, wodurch mit vergleichsweise einfacher Hardware eine Echtzeitberechnung möglich wird. Damit ist beispielsweise die Kalibration eines Motor- bzw. Abgasnachbehandlungssteuergeräts in einem HiL-Prüfstand möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur dynamischen Ermittlung von Gasströmungen in einem Leitungsstrang (1), insbesondere in Einlass- oder Auslassleitungen von Brennkraftmaschinen, wobei Bauteile (B_1 , B_2 , B_3 , B_i) und Rohrteile (R_1 , R_2 , R_3 , R_i) durch eine Abfolge von Modellvolumina (V_1 , V_2 , V_i) und Modelldrosseln (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) modelliert werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Bauteile (B_1 , B_2 , B_3 , B_i) und/oder Rohrteile (R_1 , R_2 , R_3 , R_i) im Leitungsstrang (1) zu einer Komponentengruppen (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) zusammengefasst werden, wobei der Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) ein einziges Modellvolumen (V_1 , V_2 , V_i) und/oder eine einzigen Modelldrossel (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) zugeordnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leitungsstrang (1) durch mehrere hintereinander gereihete Komponentengruppen (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) modelliert wird, wobei jeder Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) jeweils nur ein Modellvolumen (V_1 , V_2 , V_i) und/oder nur eine Modelldrossel (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) zugeordnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** Verzweigungsknoten (2), Mündungsknoten und/oder Kreuzungsknoten des Lei-

tungsstranges (1) jeweils eine Grenze von hintereinanderfolgenden Komponentengruppen (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) definiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem Leitungsstrang um eine Ein- oder Auslassleitung einer Brennkraftmaschine handelt und das Modellvolumina (V_1 , V_2 , V_i) der ersten oder letzten Komponentengruppe (KG_2 , KG_3) durch die Umgebung (U) ersetzt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gasmassenströme ($\dot{m}$) im Leitungsstrang (1) und/oder der Komponentengruppen (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) auf der Basis der Modellvolumina (V_1 , V_2 , V_i) und/oder der Modelldrosseln (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) berechnet werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gasmassenstrom ($\dot{m}$), vorzugsweise auch der Enthalpiestrom ($\dot{H}$), durch die Modelldrossel (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) einer Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) als Eingangsgröße in die Abfolge von Komponenten dieser Komponentengruppen (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) dosiert wird, wobei vorzugsweise der Gasmassenstrom im Berechnungsschritt als konstant angenommen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Komponentengruppen (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) jeweils zur weiteren Berechnung von Wärmeströmen und Stoffumsätzen in Einzelkomponentenmodelle aufgespalten werden und in jeder Komponente der Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) Druckverlust (Δp), Wärmebilanz ($\dot{Q}$) und/oder Reaktionsumsatz berechnet und als Eingangsgrößen an die jeweils nächste Komponente der Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) übergeben werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Summe aller berechneten Druckverluste (Δp) der einzelnen Komponenten der Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) mit dem Druckverlust (Δp_D) der Modelldrossel (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) der Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) verglichen und im Falle einer Abweichung die Modelldrossel (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) durch eine Parameteranpassung korrigiert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Summe der Wärmebilanzen ($\dot{Q}$) der Komponenten der Komponentengruppe (KG_1 , KG_2 , KG_3 , KG_i) zum Enthalpiestrom $\dot{H}$ hinter der Modelldrossel (D_1 , D_2 , D_3 , D_i) addiert wird.

10. Computerprogramm, das Anweisungen enthält, die, wenn sie von einer Steuerungseinrichtung, insbesondere einer elektronischen Steuerung einer Brennkraftmaschine oder eines Abgasnachbehandlungssystems einer Brennkraftmaschine, ausgeführt werden, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 durchführen. 5
11. Computerlesbares Medium, auf welchem ein Computerprogramm nach Anspruch 10 gespeichert ist. 10

15

20

25

30

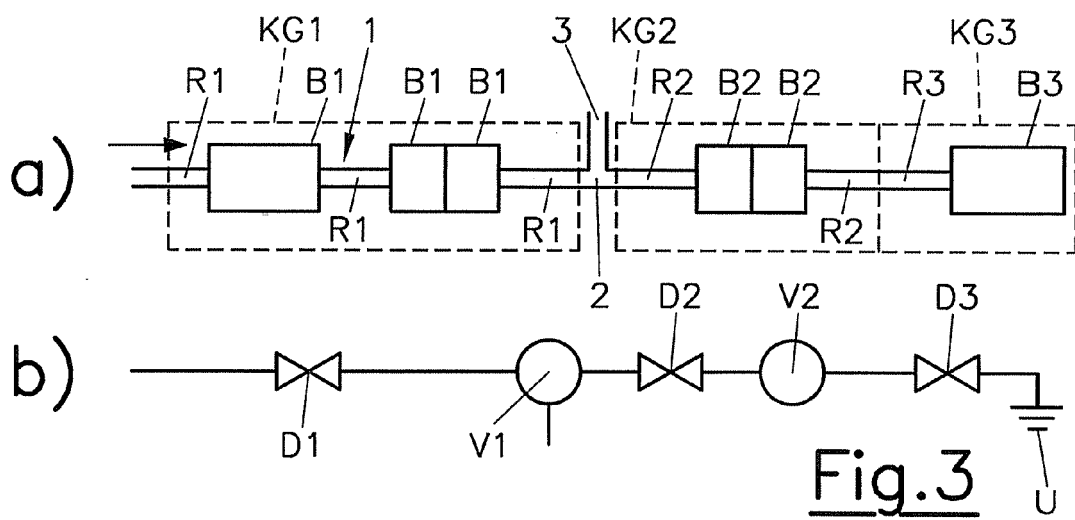
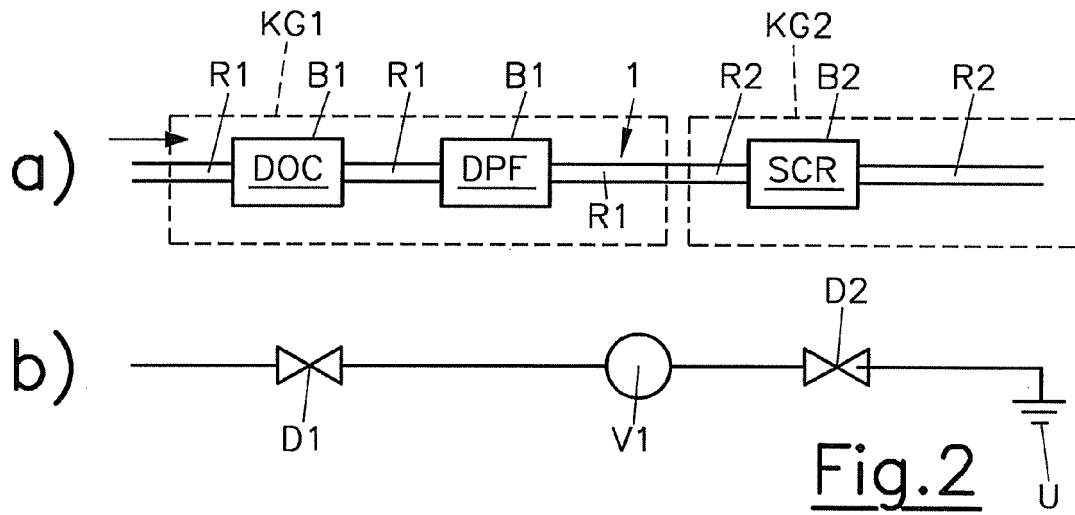
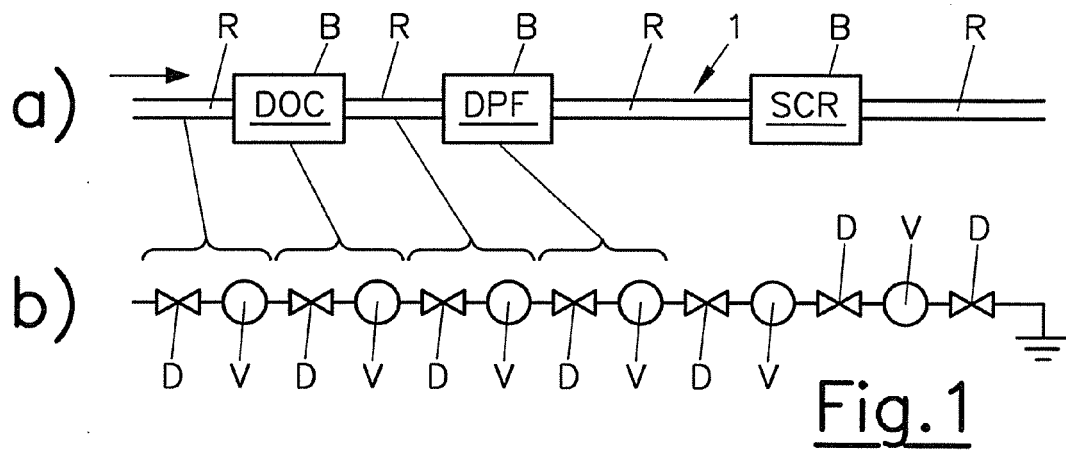
35

40

45

50

55



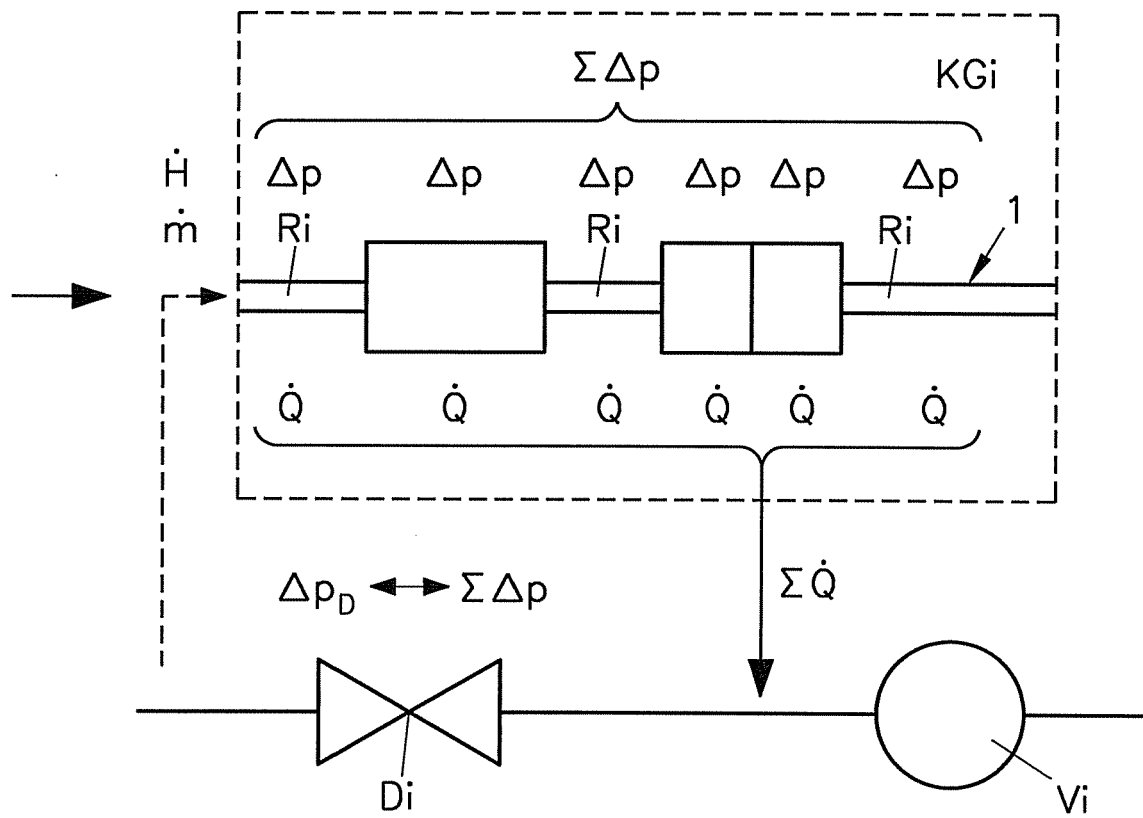


Fig.4

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **GUZELLA L. ; ONDER C. H.** Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems. Springer Verlag, 2004, S21-118 **[0003]**